

Проект «Инженерные кадры Зауралья»

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Курганский государственный университет»

Кафедра автоматизации производственных процессов

**Измерение механических свойств конструкционных материалов
методом динамического вдавливания**

Методические указания к выполнению лабораторной работы
по курсу «Технические измерения и приборы»
для студентов очной и заочной форм обучения
направления 220700. 62
«Автоматизация технологических процессов и производств»

Курган 2013

Кафедра автоматизации производственных процессов
Дисциплина: «Технические измерения и приборы»
Составили: доцент, канд. техн. наук В.П. Кузнецов
доцент, канд. техн. наук О.В. Дмитриева
К.Н. Грибанов

Утверждено на заседании кафедры «14» ноября 2013 г.

Рекомендованы методическим советом университета в рамках проекта
«Инженерные кадры Зауралья» «22» ноября 2013 г.

Содержание

Введение.....	4
1. Описание метода динамического вдавливания.....	4
2. Прибор ПИМ-ДВ-1.....	7
3. Подготовка прибора к использованию.....	10
4. Порядок выполнения работы.....	11
5. Оформление отчета.....	15
6. Контрольные вопросы.....	15
Список использованной литературы.....	15

Введение

Одним из методов определения механических свойств конструкционных материалов является метод динамического вдавливания. Метод основан на определении механических свойств по измерениям твердости.

При измерении твердости методом динамического вдавливания происходит непрерывное увеличение нагрузки на сферический наконечник индентора. При внедрении наконечника в поверхность испытуемый металл претерпевает упругую и пластическую деформации, а затем разрушение. Возникающие при этих процессах напряжения аналогичны напряжениям, полученным при других видах механических испытаний [1-3].

Данный метод измерения механических свойств конструкционных материалов позволяет автоматизировать как процесс испытаний, так и обработки результатов. В процессе испытаний проводится регистрация процесса деформирования в виде трех диаграмм в координатах: нагрузка - время; перемещение - время; нагрузка - перемещение при непрерывном вдавливании сферического индентора

Цель работы: закрепить теоретические знания, полученные в ходе изучения курса «Технические измерения и приборы» и получить практические навыки работы с измерительным прибором ПИМ-ДВ-1 для измерения механических характеристик материалов по диаграмме вдавливания.

1. Метод динамического вдавливания

Для контроля твердости металла применяют пластическое вдавливание шара в испытуемый материал, определяя таким образом твердость по Бринеллю. Твердость приводится в стандартах на металл. Данное свойство характеризует сопротивление вдавливанию при больших пластических деформациях и позволяет определять предел текучести σ_B . Для конструкционных сталей в ГОСТ 22761-77 приведена таблица для определения предела прочности σ_B на основе экспериментальной зависимости между НВ и σ_B .

При построении диаграмм вдавливания наиболее целесообразно использовать наконечник в форме шара, так как в этом случае по мере вдавливания увеличивается угол вдавливания, который характеризуется отношением d/D , а следовательно, и степень деформации в лунке, тогда как при вдавливании конуса или пирамиды для построения диаграммы вдавливания необходимо иметь набор наконечников, что существенно усложняет эксперимент.

По аналогии с растяжением строят диаграмму вдавливания в координатах напряжение – деформация. Степень деформации в лунке в основном зависит от диаметра лунки, поэтому диаграмму $H(d)$ можно рассматривать как первичную, которую можно пересчитать на диаграмму напряжение – деформация. Диаграмма твердости, построенная в координатах – $HB-(d/D)$, схематически показана на рисунке 1.

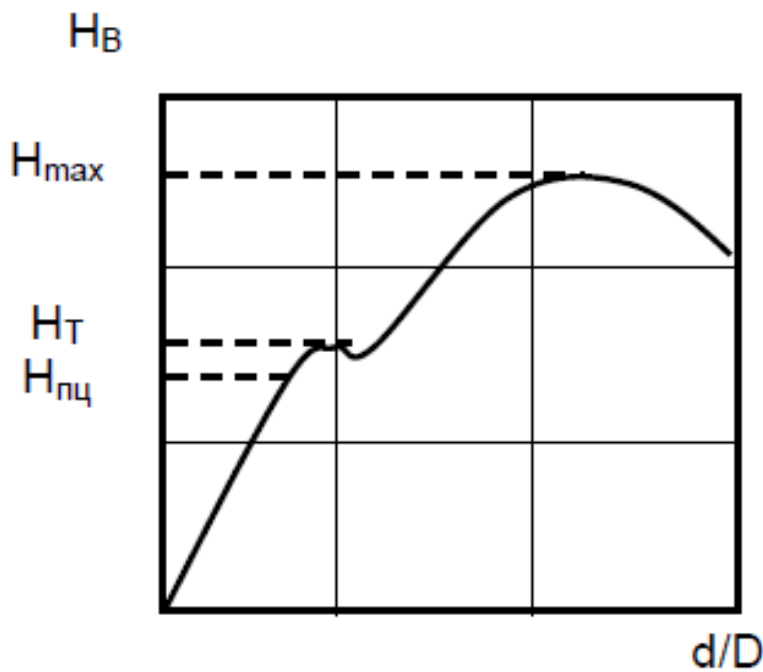


Рис.1.1. Диаграмма твердости

Диаграмма охватывает упругую область, область малых пластических деформаций и область больших пластических деформаций. Данная диаграмма имеет вид аналогичный диаграмме растяжения. Характерные точки на диаграмме твердости твердость на пределе текучести H_T и максимальная твердость H_{max} , соответствуют пределу текучести σ_T и временному сопротивлению σ_B на диаграмме растяжения. Для конструкционных углеродистых и легированных сталей, имеющих структуру перлитного типа твердость HB практически совпадает с H_{max} , чем и можно объяснить ее широкое использование.

Физическим обоснованием рассматриваемого метода является существование общей зависимости (рис.1.2) между отношением напряжения текучести σ к среднему контактному давлению p_{cp} и независимым деформационным параметром

$$\lambda = h^2 / (W_0 d)$$

где W_0 и h - соответственно упругая и пластическая составляющие перемещения центра контактной площадки относительно исходной поверхности образца; d - диаметр контактной площадки.

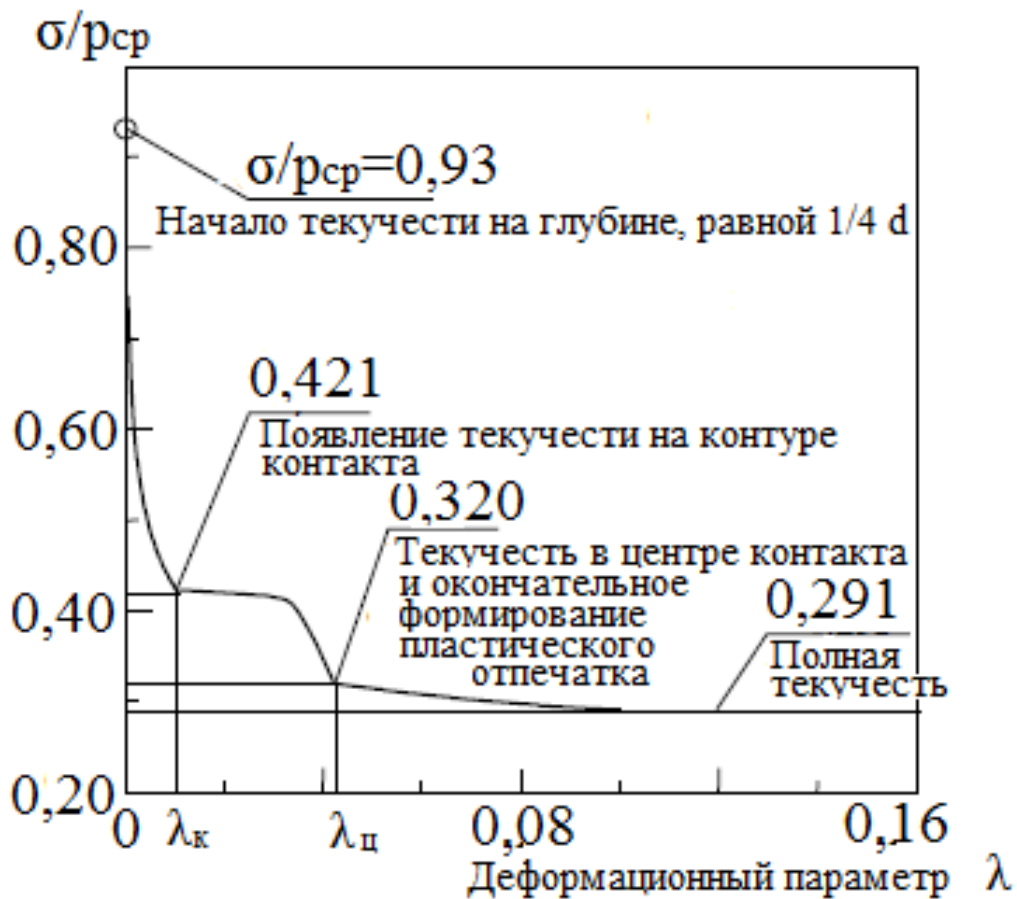


Рис.1.2. Зависимость отношения напряжения текучести σ к среднему контактному давлению $p_{ср}$ от деформационного параметра $\lambda = h^2 / (W_0 d)$.

При этом под величиной σ понимается напряжение, определенное по кривой одноосного растяжения $\sigma(\epsilon)$ при ϵ , равным эффективной пластической деформации при вдавливании. σ и ϵ - истинные значения напряжения и пластической деформации.

Характерными точками на кривой этой зависимости являются точки с координатами $\lambda = \lambda_к \approx 0,011$ и $\sigma/p_{ср} = 0,421$, а также $\lambda = \lambda_ц \approx 0,042$ и $\sigma/p_{ср} = 0,320$, связанные с двумя критическими моментами развития начальной текучести в области контакта - появлением пластической деформации на контуре, а затем (после некоторого развития) в центре круговой площадки контакта.

При $\lambda > 0,08$ отношение $\sigma/p_{ср}$ становится постоянным и равным 0,291, что соответствует области развитых пластических деформаций.

Формирование начального пластического отпечатка, которое происходит в интервале $\lambda_к < \lambda < \lambda_ц$, характеризуется наличием на кривой зависимости $\sigma/p_{ср}(\lambda)$ небольшой площадки, обусловленной процессом концентрации давления в центре контактной площадки по мере расширения зоны текучести.

Рассматривая механику упругопластического вдавливания в рамках теории упругости связь между σ и $p_{ср}$ в интервале $\lambda_к < \lambda < \lambda_ц$ можно представить в виде

следующей функции

$$\sigma = 0,5k(1 + \alpha)(1 - 2\mu)p_{cp},$$

где μ – коэффициент Пуассона; $\alpha=(p_o/p_{cp}-1)=\alpha(\lambda)$ - параметр, характеризующий степень концентрации давления по площадке контакта в процессе нагружения (p_o - давление в центре контакта); $k=k(\lambda)$ - переменный параметр, определяющий степень развития пластической деформации в области $\lambda_k < \lambda < \lambda_c$.

Установленные закономерности упругопластического контактного деформирования при непрерывном вдавливании сферического индентора легли в основу разработки методик определения по параметрам диаграммы кинетического индентирования $P - t$ таких характеристик механических свойств металлов, как пределы упругости и текучести, временное сопротивление (предел прочности), равномерная деформация, кривая упрочнения $\sigma - \varepsilon$ [1-3].

2. Прибор ПИМ-ДВ-1

Первым и единственным на территории России стандартизованным средством измерения, реализующем этот метод динамического вдавливания, является прибор ПИМ-ДВ-1 (рис.2.1), который был разработан на предприятии НПП «РобоТест» (г. Москва) и там же в настоящее время производится.

Прибор отвечает всем требованиям к определению механических свойств по допустимой погрешности измерений, воспроизводимости результатов измерений, производительности и удобству в работе, не требует специальных знаний и высокой квалификации пользователя.

В режиме реального времени прибор позволяет регистрировать непрерывную диаграмму локального упругопластического деформирования и определять предел текучести, временное сопротивление, твердость в разных шкалах, кривую упрочнения, равномерную деформацию, относительное удлинение и сужение.

Прибор ПИМ-ДВ-1 имеет сертификат Госстандарта РФ и внесен в Государственный Реестр под № 22099-01. ПИМ-ДВ-1 выпускается в двух модификациях - для использования в лабораторных условиях и для проведения испытаний (с возможностью автономного питания и дистанционного управления) непосредственно на металлоконструкциях, оборудовании, трубопроводах и др. изделиях в процессе их производства и эксплуатации.



Рис.2.1. Внешний вид прибора ПИМ-ДВ-1

В режиме реального времени прибор позволяет регистрировать непрерывную диаграмму локального упругопластического деформирования и определять предел текучести, временное сопротивление, твердость в разных шкалах, кривую упрочнения, равномерную деформацию, относительное удлинение и сужение.

Прибор состоит из испытательной головки, закрепленной на жесткой двухколонной раме, электронного блока и персонального компьютера. Узел измерения перемещения индентора (глубины вдавливания) состоит из корпуса, жестко закрепленного на штоке, плоской пружины, кинематически связанной с испытуемой поверхностью, и датчика. При этом прогиб пружины, равный линейному перемещению индентора, вызывает пропорциональный электрический сигнал с датчика перемещения. Напряжения с датчиков усиливаются и подаются на вход электронного блока.

Принцип работы прибора основан на регистрации в реальном масштабе времени процесса упругопластического контактного деформирования

материала в виде диаграмм в координатах нагрузка-перемещение, нагрузка-время и перемещение-время при непрерывном вдавливании сферического индентора (твердосплавного шара).

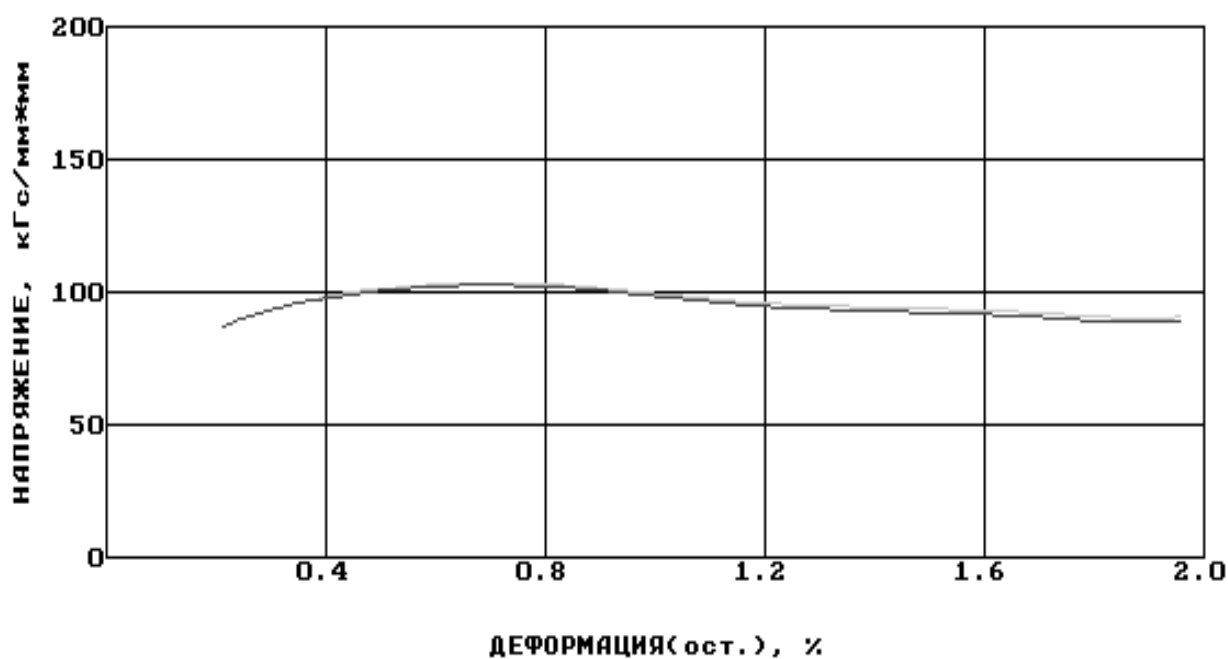
Технические характеристики ПИМ-ДВ-1 приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1.

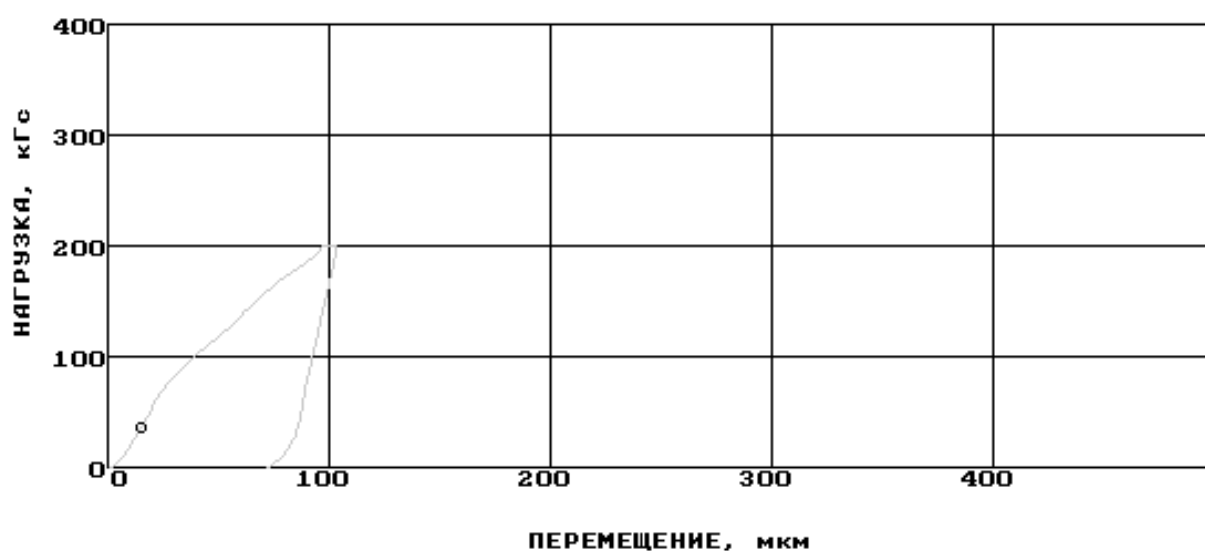
Основные характеристики ПИМ-ДВ-1

Диапазон измерения твердости	
по шкале Бринелля, НВ	8 – 800
по шкале Виккерса, НV	8 -1200
по шкале Роквелла, НРС	20 - 70
Пределе допустимой относительной погрешности измерения твердости при поверке прибора по образцовым мерам твердости 2-го разряда по ГОСТ 9031-75, %	не более ± 3
Диапазон измерения нагрузки, кН	0-6;
Погрешность измерения нагрузки, %	0,5;
Диапазон измерения перемещения, мкм	0-1250;
Погрешность измерения перемещения, мкм	0,2;
Скорость приложения нагрузки, Н/с	150
Продолжительность одного цикла испытания, мин	
Индентор - шарик (ВК6) диаметром, мм	2,5;
Масса испытательной головки, кг	11;
Масса электронного блока, кг	4;
Габаритные размеры, мм:	
испытательной головки	170x200x400;
электронного блока	240x260x135;

В качестве примера на рис.2.2. приведены типичные диаграммы зависимостей напряжение-деформация и нагрузка - перемещение, которые прибор ПИМ-ДВ-1 регистрирует в режиме реального времени.



a



б

Рис. 2.2. Типичные диаграммы динамического вдавливания, регистрируемые прибором ПИМ-ДВ-1 при непрерывном вдавливании сферического индентора диаметром 2,5 мм в образцы из стали 40Х а) в координатах напряжение -деформация; б) нагрузка – перемещение λ

3. Подготовка прибора к использованию

1. Подсоединить разъемы испытательной головки и компьютера к соответствующим разъемам электронного блока с помощью кабелей и включить в сеть электронный блок. При этом на передней панели должна загореться лампочка питания. Прогреть прибор в течение 5 - 10 минут.

2. Подготовить поверхность объекта в месте проведения испытания. Закрепить образец на измерительном столе. Приложение нагрузки должно осуществляться перпендикулярно испытываемой поверхности. Расстояние от центра отпечатка до края образца должно быть не менее двух диаметров отпечатка, а расстояние между центрами двух соседних отпечатков должно быть не менее 4 диаметров отпечатков.

3. Включить компьютер в установленном порядке.

4. Установить тумблер режима работы двигателя в положение «Ручной» и убедиться в работоспособности привода механизма нагружения.

5. Установить расстояние от нижней части (нижней кромки опорного кольца) испытательной головки до объекта 1-2 мм. Предварительную установку по высоте произвести вертикальным смещением траверсы вдоль колонок (**При выполнении этой операции обязательно поддерживать испытательную головку.**) Зафиксировать траверсу в выбранном положении двумя винтовыми зажимами. Включением привода переместить головку вверх или вниз для окончательной установки требуемого расстояния.

6. Зазор между нижней кромкой опорного кольца и индентором должен быть в пределах 0,05-0,08 мм. Отрегулировав зазор, зафиксировать винтами и контргайкой положение корпуса на штоке.

7. Установить тумблер режима работы в положение «ЭВМ».

4. Порядок выполнения работы

1. Подготовить прибор к работе (раздел 3) [5].

2. Получить у преподавателя образцы испытываемых материалов.

3. Загрузить программу **XPRESS** в оперативную память компьютера, запустив файл **xpress.bat**. После появления на экране заставки-приглашения нажать клавишу “**Enter**” или щелкнуть мышью на кнопке “**OK**”. На экране появится основное рабочее окно программы (рис.4.1).

С помощью курсора мыши компьютера выбрать необходимый режим работы из главного меню в верхней части компьютера.

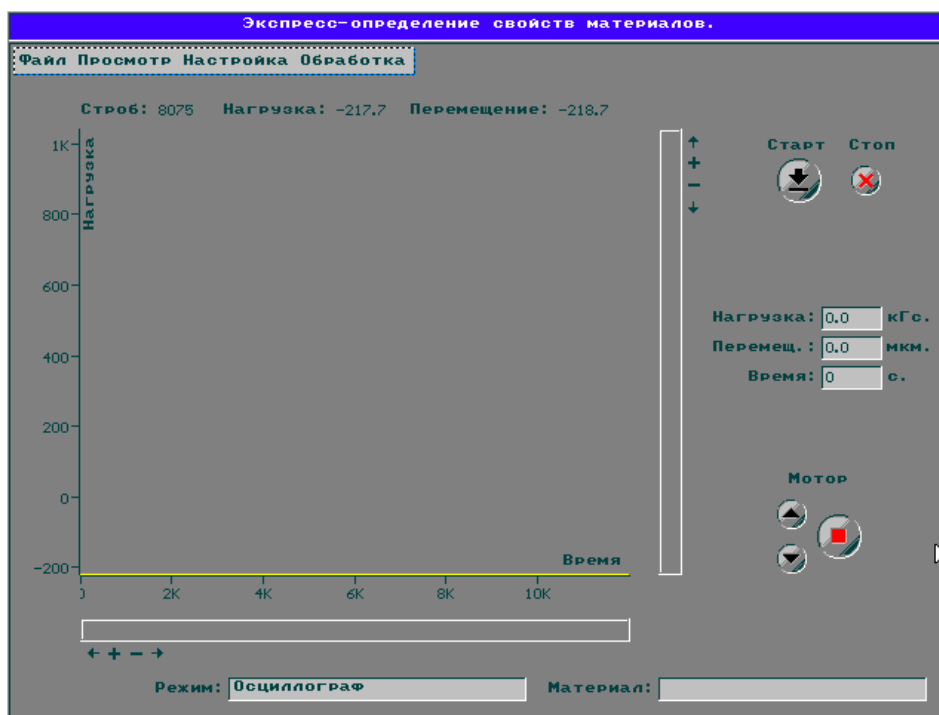


Рис.4.1. Основное рабочее окно программы

4. До выполнения измерения необходимо выполнить калибровку прибора по нагрузке и по перемещению (рис.4.2).

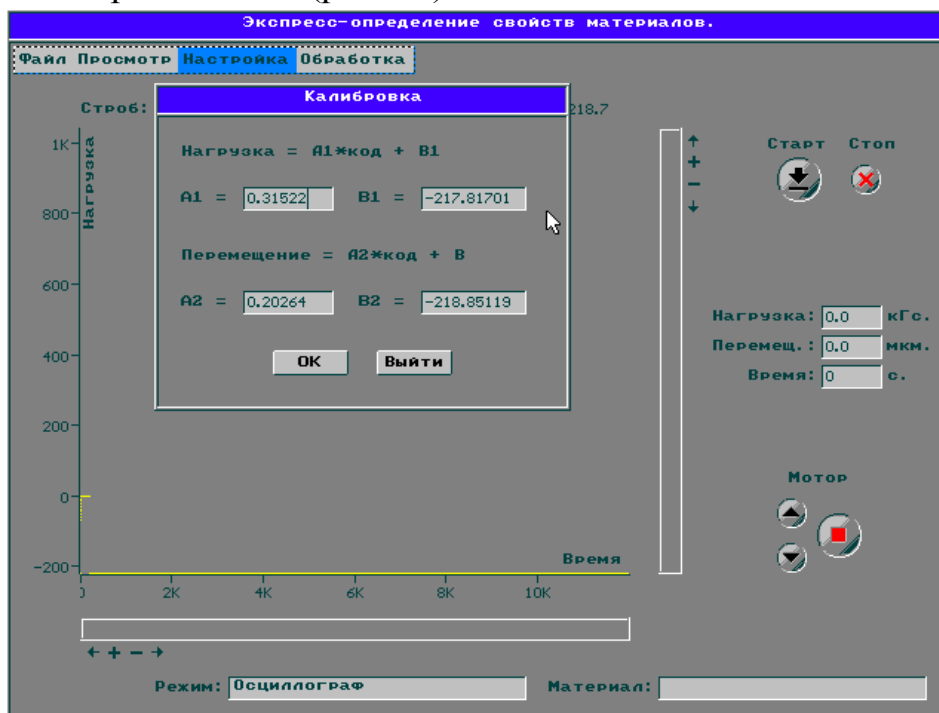


Рис.4.2. Окно настройки программы

5. Для запуска процесса измерения нажать кнопку «Старт». Появится окно параметров измерения «материал» и «образец» (рис.4.3). При необходимости изменения параметров, выбрать соответствующий параметр с помощью мыши,

ввести с клавиатуры нужное значение и нажать кнопку «Старт» в этом окне для запуска двигателя привода нагружения и измерительных каналов.

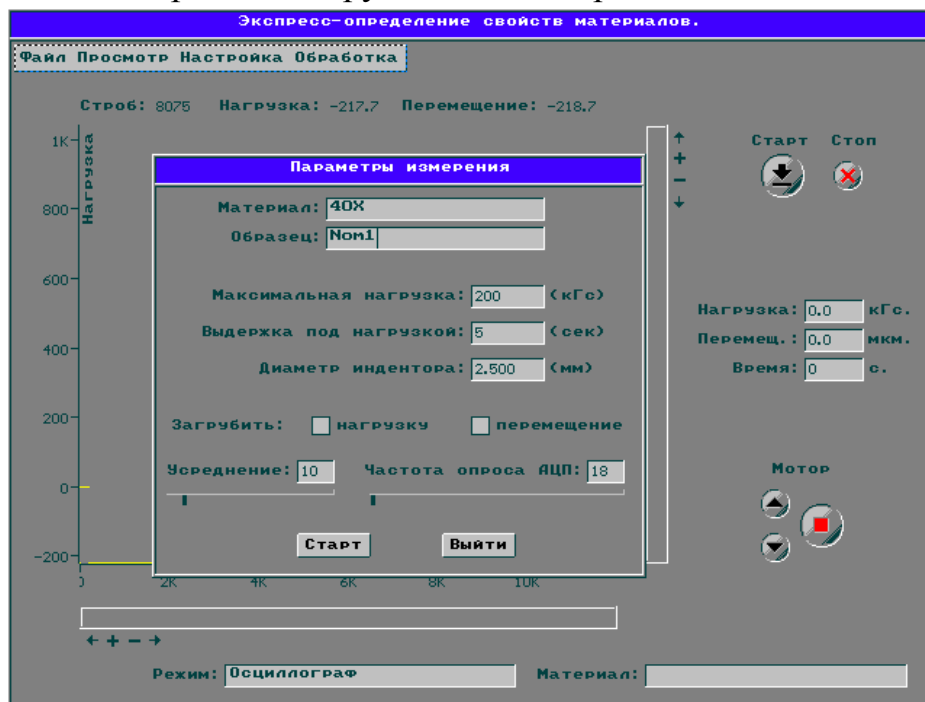


Рис.4.3. Окно параметров

Через 2-3 секунды после касания индентора испытуемой поверхности произойдет автоматическое обнуление показаний датчиков и через несколько секунд начнется рост нагрузки. Участок диаграмм деформирования, соответствующих этапу *роста нагрузки* будет отображаться на экране *красным цветом* (рис.4.4).

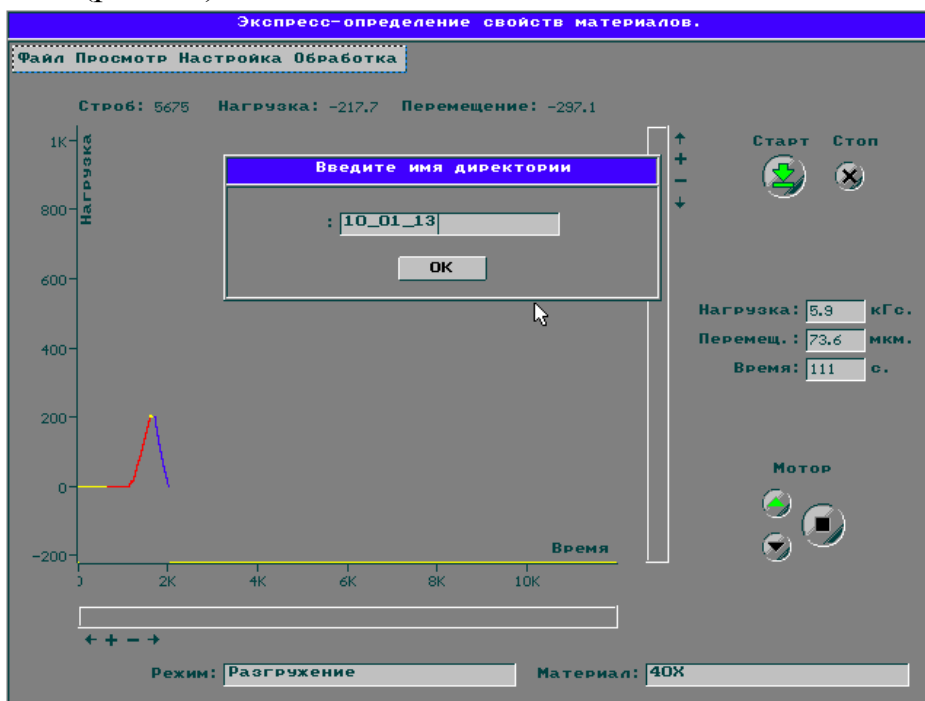


Рис.4.4. Диаграмма нагрузка-время

В момент достижения заданной предельной нагрузки произойдет остановка двигателя и **выдержка под нагрузкой** в течение заданного времени. Этот участок диаграмм будет изображен **желтым цветом** (рис.4.4). После выдержки двигатель включится на **разгрузку**, а кривая разгрузки на диаграммах будет регистрироваться **синим цветом** (рис.4.4).

При нормальной работе прибора процесс испытания должен закончиться автоматически, однако при необходимости его всегда можно прервать, нажав кнопку «**Стоп**».

Для быстрого переключения просмотра диаграмм (нагрузка - время, перемещение - время, нагрузка - перемещение) можно переместить указатель мыши в поле вывода графика и щелкнуть правой кнопкой. Появится контекстное меню для выбора варианта просмотра.

6. После завершения измерения появится окно обработки. Если нет необходимости в обработке и получении результатов сразу после испытания, то следует нажать кнопку “**Esc**”. В противном случае необходимо ввести имя директории (не более 8 символов) и щелкнуть два раза мышью на кнопке “**OK**” или нажать два раза на клавишу “**Enter**”. При этом в созданную директорию будут записаны файлы, содержащие данные измерений по каждому этапу испытания: **1.dat** – файл этапа нагружения; **2.dat** – файл выдержки под нагрузкой; **3.dat** - файл разгрузки. Кроме того, будут записаны файлы **4.dat** и **res.dat**, содержащие данные о некоторых параметрах испытания. Одновременно с этим произойдет очистка экрана и после обработки данных измерений появятся результаты испытаний которые будут сохранены в файле (рис.4.5).

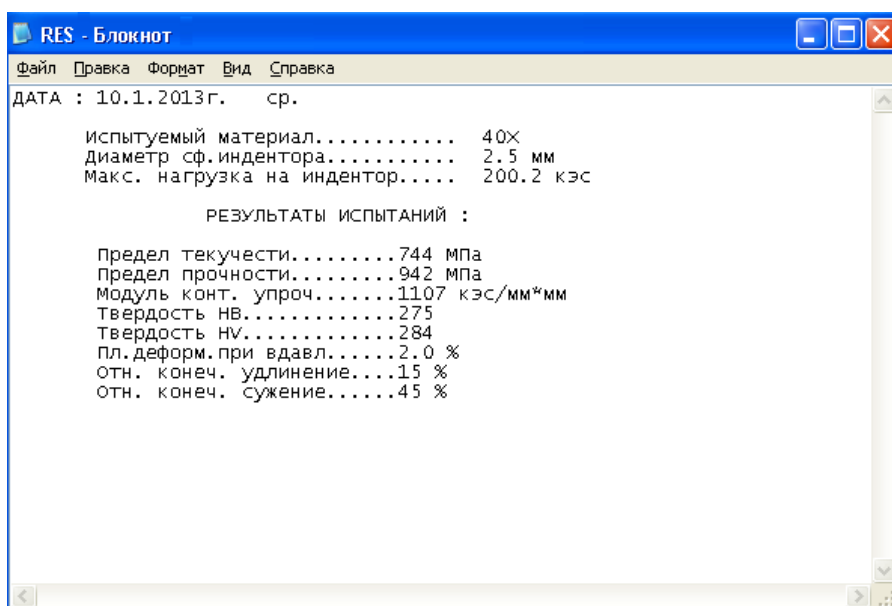


Рис.4.5. Результаты испытаний стали 40X

7. Последовательным нажатием клавиши “**Enter**” вывести на экран после обработки: диаграмму упругопластического вдавливания в координатах нагрузка - перемещение и диаграмму растяжения в координатах **напряжение - степень пластической деформации**. После появления запроса на сохранение выбрать вариант ДА.

Протокол испытания, графики и другую информацию, сохраненную в электронном виде, можно распечатать на принтере.

8. Полученные значение механических характеристик сравнить с табличными значениями по ГОСТ и определить марку материалов образцов.

5. Оформление отчета

Отчет должен содержать:

1. Данные испытаний трех различных образцов.
2. Выводы по работе.

6. Контрольные вопросы

1. Какие механические характеристики можно измерять методом динамического вдавливания?
2. В чем заключается сущность метода динамического вдавливания?
3. Назовите достоинства и недостатки используемого метода.
4. Для исследования каких материалов можно использовать прибор ПИМ-ДВ-1?

Список использованной литературы

1. Авдеев Б.А. Современные машины и приборы для механических испытаний материалов [Текст] / Б.А. Авдеев. - М.: Стандартгиз, 1960. - 62 с. ил.
2. Марковец М.П. Определение механических свойств металлов по твердости [Текст] / М.П. Марковец. - М.: Машиностроение, 1979. - 191 с.
3. Булычев С.И. Испытание материалов непрерывным вдавливанием индентора [Текст] / С.И. Булычев, В.П. Алехин. - М.: Машиностроение, 1990. - 224 с.
4. Ю.И. Головин. Наноиндентирование и его возможности. М.: Машиностроение, 2009. -312с.
5. Прибор для измерения механических характеристик материалов по диаграмме вдавливания ПИМ-ДВ01. Паспорт. 2005

Кузнецов Виктор Павлович

Дмитриева Ольга Венедиктовна

Грибанов Константин Николаевич

**Измерение механических свойств конструкционных материалов методом
динамического вдавливания**

Методические указания к выполнению лабораторной работы
по курсу «Технические измерения и приборы»
для студентов очной и заочной форм обучения
направления 220700.62 «Автоматизация технологических процессов и
производств»

Авторская редакция

Подписано к печати 06.03.2014	Формат 60x84 1/16	Бумага тип. № 1
Печать цифровая	Усл. печ. л. 1,0	Уч.-изд. л. 1,0
Заказ 75	Тираж 50	Не для продажи

Редакционно-издательский центр КГУ.
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.
Курганский государственный университет.